

報告 シラスとフライアッシュを用いた低強度充てんモルタルに関する配合検討

高橋 宏治^{*1}・末岡 英二^{*2}・安田 正雪^{*3}・安武 篤久^{*4}

要旨：筆者らは、地下空洞などへの充てんを目的として、シラスとフライアッシュを用いた低強度充てんモルタルを開発¹⁾し、施工を行った。本報は、施工時に十分明らかではなかった、シラスの表面水率の大小や練混ぜ方法、および表面水率設定誤差が、製造時の低強度充てんモルタルのフレッシュ性状へ及ぼす影響について検討した。その結果、低強度充てんモルタルのフレッシュ性状は、シラスの表面水率の大小による補正後の練混ぜ水量の影響を大きく受けるが、練混ぜ方法の相違による影響は小さかった。また、目標性能を得るための表面水率設定誤差範囲は±2.0%程度であることがわかった。

キーワード：シラス、表面水率、練混ぜ方法、表面水率設定誤差、練混ぜ水量

1. はじめに

筆者らは、南九州地区に多く分布するシラスや石炭火力発電所から排出されるフライアッシュの有効利用の一環として、特殊地下壕などの地下空洞への充てん材に、シラスとフライアッシュを用いた低強度充てんモルタル（以下、モルタルと略す）を開発し¹⁾、現場へ適用した。

このモルタルは、再掘削が可能な強度であること、エアモルタルや流動化処理土のような特殊設備を必要とせず、生コン工場で製造できることが特長である。一方、砂の代替材としてのシラスは、コンクリートに通常用いる細骨材と比べ吸水率が大きく、細粒分を多く含むことが特徴である²⁾。さらに採取された自然状態では表面水率も極めて大きく、表面水率がモルタルのフレッシュ性状に影響を及ぼす恐れがあった。

施工時におけるモルタル製造は、表面水率の大きい自然状態のシラスを採取して用いることとなったが、モルタルの所要の品質を確保するために製造前にある程度乾燥させ表面水率を小さくし、ほぼ一定に調整したものを使用してい

た。しかし、シラスの表面水率の大小や練混ぜ方法の相違、および表面水率設定誤差が製造時のモルタルのフレッシュ性状に及ぼす影響は十分明らかにはなっておらず、それらの影響を考慮した、施工時のモルタルの製造条件を明らかにする必要があった。

そこで本報では、シラスの表面水率、練混ぜ方法の相違およびシラスの表面水率設定誤差による、モルタルのフレッシュ性状への影響について試験し、配合設定についての検討を行った。

2. 実験概要

2.1 基本配合と目標性能

モルタルに要求される性能は以下のとおりであり、それを満足する配合を表-1に示す。ただし、この配合はシラスの表面水率が5%のときに表面水率補正を行った上で、練混ぜたものであり、今回の実験ではこれを基本配合とした。

- ・モルタルフロー：200±20mm を 90 分間満足すること
- ・ブリーディング率：3.0%以下

*1 東洋建設(株) 技術本部 美浦研究所 材料研究室 (正会員)
 *2 東洋建設(株) 技術本部 美浦研究所 材料研究室 室長 工修 (正会員)
 *3 東洋建設(株) 技術本部 美浦研究所 材料研究室 主任研究員 (正会員)
 *4 東洋建設(株) 九州支店 土木技術部 課長

表-1 基本配合

Case	W/C (%)	W/P* (%)	FA/P (%)	SH/P	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (P×%)
						W	C	FA	SH	SP
基本	450	106.2	76.4	3	0	360	80	259	1020	3.0

※P=C+FA

表-2 実験の要因と水準

シリーズ	要因	水準
I	練混ぜ方法	3 ケース
	表面水率	5 ケース
II	表面水率の設定誤差	6 ケース

表-4 使用材料

種類 (記号)	産地・仕様
セメント (C)	高炉セメント B 種 密度 3.02g/cm ³ 比表面積 3880cm ² /g
フライアッシュ (FA)	II 種 密度 2.27g/cm ³ 比表面積 3720cm ² /g フロー値比 101%
シラス (SH)	鹿児島県肝属郡高山町産 表乾密度 2.04g/cm ³ 吸水率 10.0%,粗粒率 1.80 微粒分(0.075mm 以下)22.9%
高性能 AE 減水剤 (SP)	ポリカルボン酸系

表-3 実験ケース

シリーズ	練混ぜ方法	表面水率(%)	
		設定値	設定誤差 (SHの想定値)
I	Case1 Case2 Case3	-5 ^{※1}	-
		0	
		+5	
		+10	
II	Case1	+15	-2.0 (3.0) -1.0 (4.0) 0 (5.0) +1.0 (6.0) +2.0 (7.0) +4.0 (9.0)
		+5 ^{※2}	

※1:Case2, 3 の表面水率は, 5 分後のみ確認
 ※2: シラスの表面水率は+5.0%であり, () 書きの想定値となるように練混ぜ水を補正した

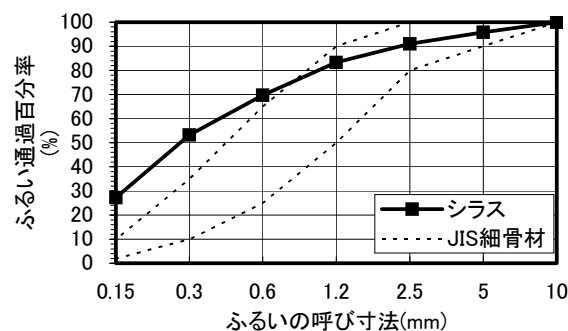


図-1 シラスの粒度分布

2.2 実験の要因と水準

実験の要因と水準を表-2に, 実験ケースを表-3に示す。実験は, シリーズ I および II からなり, シリーズ I ではシラスの表面水率を-5~15%の 5 水準変化させ, モルタルのフレッシュ性状への影響を確認した。さらに練混ぜ方法の相違による影響を確認するため, 3 種類の練混ぜ方法によりモルタルを製造した。シリーズ II では表面水率設定誤差を-2~+4%の 6 水準変化させて, 設定誤差による単位水量の変化がモルタルのフレッシュ性状へ及ぼす影響を確認した。

2.3 使用材料

使用材料を表-4に示す。混和剤には, ポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤 (以下, SP と略す) を用い, いずれの配合においても, SP 添加

量は粉体量(P=C+FA)に対し 3.0%とした。

シラスの粒度分布を図-1に示す。コンクリート用細骨材の粒度分布と比較すると 0.15mm 以下の細粒分が 27%程度と非常に多く含まれていた。密度および吸水率は, JIS A1109「コンクリート用細骨材の比重および吸水率試験方法」に従い測定し, 吸水率は 10.0%と高い値であった。

実験で使用したシラスは, 表面水率 5%を基準とした。なお, 表面水率が-5,0%のものについては気乾状態のシラスの含水率を測定し, 表面水率がそれぞれの値となる水量を噴霧し, 水がシラス全体になじむように 1 日静置したものをを用いた。表面水率 10,15%のものは, モルタルを練り混ぜる直前に表面水率 5%のシラスと設定した

表面水率に相当する水量をミキサへ投入し、1分間練り混ぜた後に使用した。

2.4 練混ぜ方法

モルタルの練混ぜは、パドル式ミキサ（公称容量 20ℓ）を用いて図-2 に示す 3 種類の方法で練り混ぜを行なった。シリーズ I では、Case1：JIS R5201 に準拠するもの、Case2：材料を全て一括投入したもの、Case3：粉体およびシラスを先に 30 秒空練りした後に練混ぜ水を投入するものの、3 種類とした。シリーズ II では、Case1 の練混ぜ方法で練混ぜを行った。混和剤は全て練混ぜ水に含ませた。

2.5 試験項目および方法

モルタルの試験項目および方法を表-5 に示す。ブリーディング試験は、試料を練混ぜ後 5 分に採取し、20 時間後に測定した。圧縮強度試験は、供試体を練混ぜ後 60 分後に作製し、試験材齢まで温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 5\% \text{R.H.}$ において気中

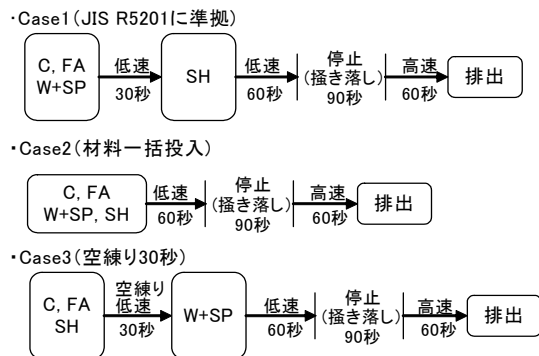


図-2 練混ぜ方法

表-5 試験項目および方法

試験項目	試験方法
モルタルフロー	JIS A 313 に準拠 経時時間：5,30,60,90 分
空気量	JIS A 1116 に準拠
単位容積質量	
モルタル温度	棒状温度計による測定
ブリーディング率	JSCE-F 522 に準拠
圧縮強度試験	JIS A 1108 に準拠 供試体寸法：φ 50mm×h100mm 試験材齢：28 日（各 3 本）

表-6 試験結果一覧

シリーズ	練混ぜ方法	表面水率 (%)		練上り 5 分後			モルタルフロー (mm)				ブリーディング率 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)
		設定値	設定誤差	単質 ^{※1} (kg/m ³)	空気量 (%)	モルタル温度 (°C)	5 分	30 分	60 分	90 分		
I	Case1	-5	-	1659	3.5	19.5	323	323	330	326	— ^{※2}	—
		0		1684	2.0	19.5	241	278	283	265	1.58	2.69
		+5		1706	0.8	20.0	193	210	209	202	1.95	2.76
		+10		1707	0.7	19.0	180	207	211	188	1.54	2.83
		+15		1695	1.4	20.0	151	185	186	185	2.27	3.01
	Case2	-5	-	1646	4.2	20.0	330	—	—	—	— ^{※2}	—
		0		1679	2.3	20.0	234	283	285	278	3.20	2.39
		+5		1697	1.3	20.0	175	201	205	198	1.49	2.37
		+10		1711	0.5	20.5	155	190	187	182	2.39	2.46
		+15		1706	0.8	20.0	147	177	181	180	2.10	2.49
	Case3	-5	-	1675	2.6	21.0	329	—	—	—	— ^{※2}	—
		0		1690	1.7	21.0	243	284	285	273	2.83	2.94
		+5		1698	1.2	21.0	189	222	219	203	2.21	2.93
		+10		1709	0.6	21.0	164	212	212	204	2.07	3.09
		+15		1702	1.0	21.0	155	189	195	193	2.26	3.08
II	Case1	+5	-2.0	1700	1.1	21.0	126	175	177	170	1.98	3.38
			-1.0	1704	0.9	20.5	150	203	204	194	2.31	—
			0	1706	1.0	20.0	193	210	209	202	1.95	2.76
			+1.0	1701	1.0	21.0	204	241	242	234	2.68	2.81
			+2.0	1700	1.1	21.0	214	246	250	243	3.13	2.48
			+4.0	1687	1.9	21.0	237	284	282	288	3.43	2.05

※1：単位容積質量，※2：材料分離により，ブリーディング率測定不能

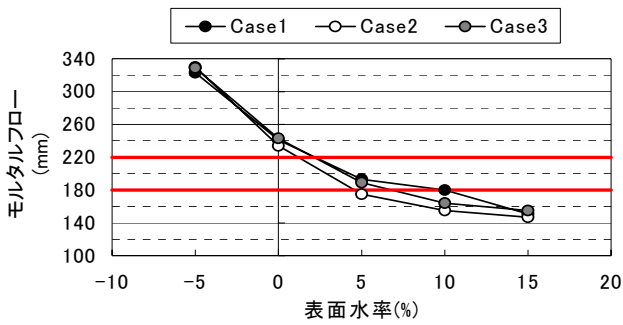


図-3 表面水率とモルタルフローの関係
(練上がり 5 分後)

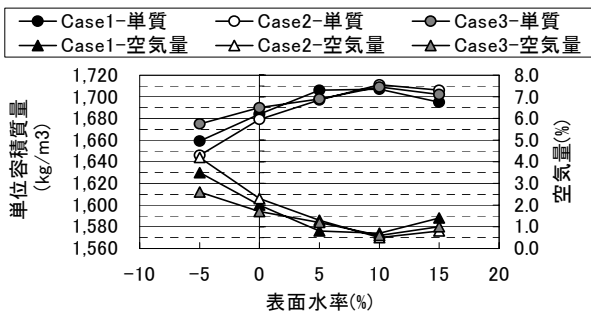


図-4 表面水率と単位容積質量・空気量との関係

養生とし、試験を行った。

3. 実験結果および考察

シリーズ I, II の試験結果一覧を表-6 に示す。

3.1 シリーズ I 練混ぜ方法・表面水率の影響

(1) フレッシュ性状について

練混ぜ方法の違いによる表面水率とモルタルフロー（練上がり 5 分後）の関係を図-3 に示す。モルタルの製造では、単位水量が同一となるように表面水率補正後の練混ぜ水を投入したが、シラスの表面水率が大きくなるほど、すなわち表面水率補正後の練混ぜ水量（以下、練混ぜ水量と略す）が少なくなるほど、モルタルフローは小さくなる傾向であり、練混ぜ水量による影響を大きく受けた。表面水率 5% 以下では、Case2 は表面水率 1%（表面水率 1% は水量約 10kg/m^3 ）の変動で 16mm 程度、Case1,3 は 13~14mm 程度の増減であった。これは、練混ぜ水量が増加したため、ペーストの流動性が上がり、モルタルフローが大きくなったと思われる。表面水率 5% 以上では、いずれの練混ぜ方法についても表面

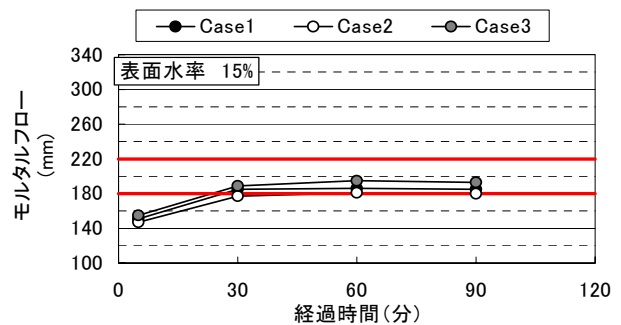
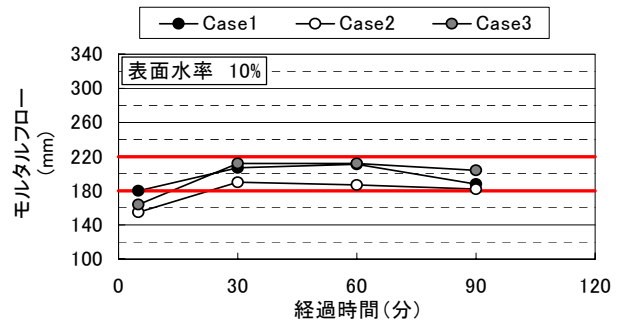
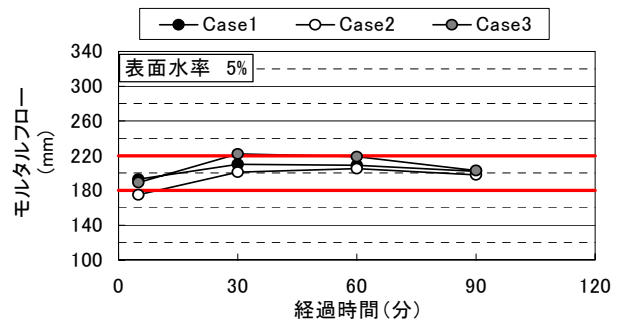
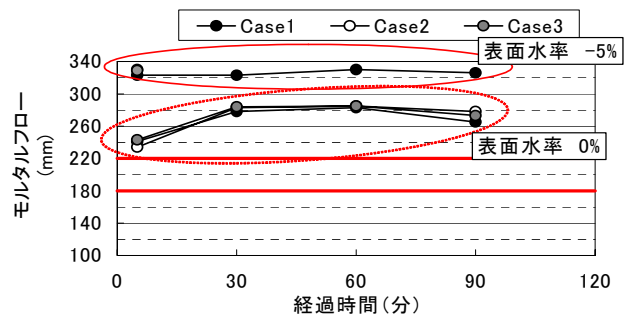


図-5 モルタルフローの経時変化

水率 1% の変動で 3~4mm 程度の増減であった。これは、シラスの表面に付着している水量が練混ぜ水量へ与える影響が少ない上に、練混ぜ水量が減少したためペーストの流動性が下がり、モルタルフローが小さくなったと思われる。いずれの練混ぜ方法においても同様の傾向であり、練混ぜ方法の相違によるモルタルフローへの影

響は小さかった。

表面水率と単位容積質量および空気量の関係を図-4に示す。表面水率-5%では、若干ばらつきが見られたものの、練混ぜ方法による影響は小さかった。また、表面水率5%未満では、いずれの練混ぜ方法においても、シラスの一部(軽石)がモルタル表面に浮く現象が見られ、表面水率が小さくなるほど空気量が増加し、単位容積質量は小さくなる傾向であった。

(2) モルタルフローの経時変化について

練混ぜ方法の違いによる表面水率とモルタルフローの経時変化を図-5に示す。表面水率-5%では、いずれのケースについても材料分離が著しかったため、Case1のみ90分間の経時変化を確認した。モルタルフローが大きくなった表面水率-5%を除くケースでは、いずれの表面水率の設定値においても、練上がり5~30分でのモルタルフローの変化量が大きく、30~90分までの変化量は小さく、いずれの練混ぜ方法においても同様の傾向であった。

(3) ブリーディング率について

練混ぜ方法の違いによる表面水率とブリーディング率の関係を図-6に示す。ブリーディング率は、Case2の表面水率0%を除いて、表面水率の変動および練混ぜ方法の違いによるブリーディングへの影響は小さく、目標性能を満足する結果となった。

(4) 配合検討について

以上の結果から、表-1に示す表面水率5%のシラスを用いた場合の基本配合は、シラスの表面水率が5~10%の範囲であれば、目標性能を概ね満足するものと考えられる。また、表面水率15%では、若干のSP添加量や単位水量の調整により、経時変化におけるモルタルフローを目標値内とすることが可能であると思われるが、SP添加量を増やしたことにより、このSPの特性による練上がり5~30分での変化量が大きくなることも考慮し、配合を修正する必要があると思われる。また、表面水率-5%(気乾状態)、0%(表乾状態)のシラスを用いる場合は、モルタルフロ

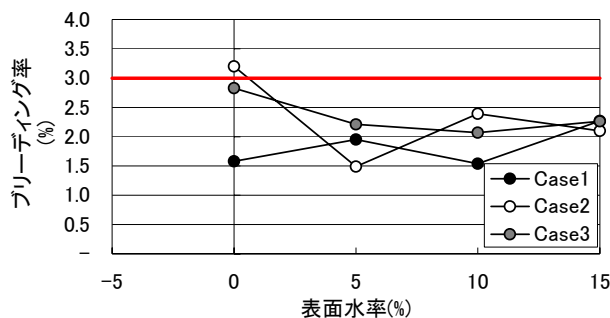


図-6 表面水率とブリーディング率の関係

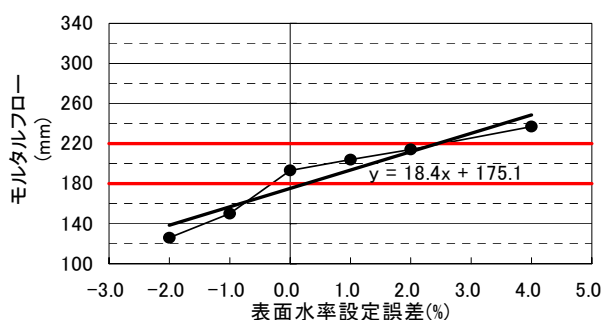


図-7 表面水率設定誤差とモルタルフローの関係

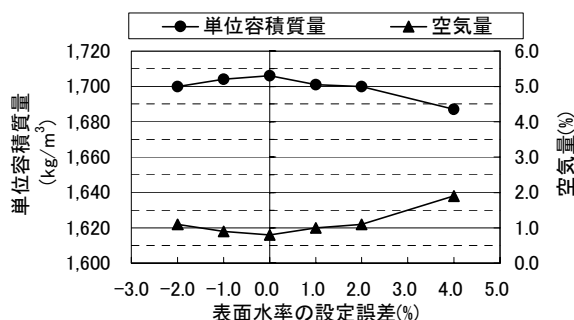


図-8 表面水率設定誤差と単位容積質量・空気量との関係

ーの著しい増加や、材料分離が発生したため、配合の見直しが必要と思われる。そのため施工時に、事前に試験練りで用いたシラスの表面水率を基本とし、表面水率の変動、特に表面水率が小さくなる方向への変動を小さくすることで、目標性能を満足できると考えられる。

3.2 シリーズII 表面水率設定誤差の影響

(1) フレッシュ性状について

シラスの表面水率設定誤差とモルタルフロー(練上り5分後)の関係を図-7に示す。モルタルフローは、表面水率設定誤差の値が負から正

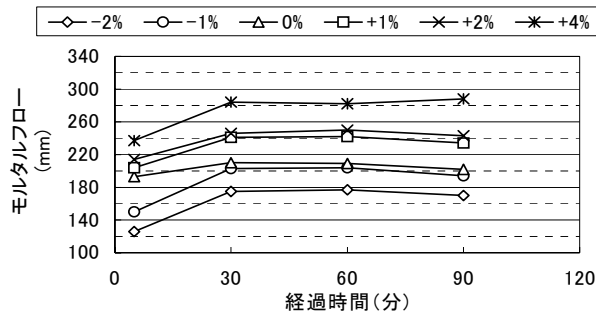


図-9 モルタルフローの経時変化

となるほど、すなわち練混ぜ水量が多くなるほど大きくなった。その値は、設定誤差1%（表面水率5%のときの設定誤差1%は、水量約 10kg/m^3 ）の変動で18mm程度の増減であった。

このことから、シラスの表面水率設定値が誤差を生じ、練上り5分後の初期値が変動したとしても、その誤差が $\pm 2.0\%$ の範囲であれば、目標性能を満足すると思われる。

シラスの表面水率設定誤差と単位容積質量および空気量の関係を図-8に示す。設定誤差が大きくなるほど空気量は、若干であるが増加し、単位容積質量は減少する傾向であった。

(2) モルタルフローの経時変化について

モルタルフローの経時変化を図-9に示す。表面水率設定誤差によるモルタルフローは、練上がり5分のモルタルフローへは影響するが、その後の経時変化量には、影響が小さかった。その値は、いずれの設定誤差においても練上がり5~30分では、最も大きいもので50mm程度、小さいものでは17mm程度増加し、30~60分では変化が小さく、60~90分では10mm程度減少する傾向であった。

(3) 表面水率設定誤差とブリーディング率

シラスの表面水率設定誤差とブリーディング率の関係を図-10に示す。ブリーディング率は、設定誤差による練混ぜ水量の増減と概ね正の相関があり、設定誤差1%の変動で0.25%程度の増減であった。

このことから、シラスの表面水率設定誤差を $+2.0\%$ 以上にすることによりブリーディング率は、目標性能3.0%を満足しない恐れがあることが明

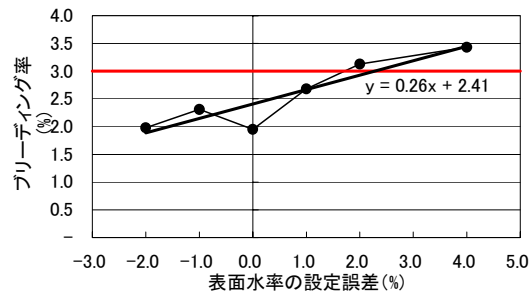


図-10 表面水率設定誤差とブリーディング率の関係

らかとなった。そのため、施工時に、目標性能を満足させるためには、設定誤差を小さくする必要があると思われる。

4. まとめ

本実験で得られた知見を以下に示す。

- (1) シラスの表面水率の大小がモルタルの性状に及ぼす影響は、シラスの表面水率補正後の練混ぜ水量によるものが大きいと考えられた。
- (2) 表面水率5%で設定した基本配合の目標性能を満足するシラスの表面水率の適用範囲は、5~10%の範囲であり、特に、表面水率が小さい場合には、基本配合の見直しが必要と考えられた。
- (3) 練混ぜ方法の違いが、モルタルの性状に及ぼす影響は小さかった。
- (4) 表面水率設定誤差がモルタルの性状に及ぼす影響は、誤差 $\pm 2.0\%$ の範囲ではモルタルフローへの影響は少ないが、誤差 $+2.0\%$ 以上ではブリーディング率への影響は大きく、目標性能を満足しない可能性があった。

参考文献

- 1) 中村亮太ほか：シラスを用いた低強度充てんモルタルの基礎的研究，土木学会第58回年次学術講演回第5部，pp.991-992，2003.9
- 2) 例えば武若耕司ほか：シラスのコンクリート用細骨材への利用に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.9，No.1，pp.7-12，1987